



TITLE:

Properties of the Ejecta from Binary Neutron Star Merger
Remnants and Implications for the Electromagnetic Signal
Associated with GW170817(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Fujibayashi, Sho

CITATION:

Fujibayashi, Sho. Properties of the Ejecta from Binary Neutron Star Merger Remnants and Implications for the Electromagnetic Signal Associated with GW170817. 京都大学, 2018, 博士(理学)

ISSUE DATE:

2018-03-26

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k20909>

RIGHT:

| | | | |
|---|---|----|-------|
| 京都大学 | 博 士（理 学） | 氏名 | 藤 林 翔 |
| 論文題目 | Properties of the Ejecta from Binary Neutron Star Merger Remnants and Implications for the Electromagnetic Signal Associated with GW170817 (連星中性子星合体後の系からの放出物質の性質とGW170817に付随した電磁波天体についての示唆) | | |
| (論文内容の要旨) | | | |
| <p>2つの中性子星からなる連星（連星中性子星）の合体は、2015年から本格的に運用を開始したLIGOに代表される地上重力波望遠鏡の最も重要な重力波源である。重力波に付随して、連星中性子星の合体によって放出される物質から様々な電磁波の突発天体が予想されてきたが、LIGO-Virgo collaborationによって初めて検出された連星中性子星合体の重力波イベントGW170817に付随し、実際に様々な波長で電磁波対応天体が発見された。</p> <p>観測された電磁波から連星中性子星合体の情報を抽出するためには、合体による質量放出と、その結果としての電磁波放射に対する信頼できるモデル化が必要である。特に、合体の残余物（レムナント）から放出される物質（エジェクタ）の質量は、場合によっては合体直後にダイナミカルに放出されるエジェクタよりも大きくなる。したがって、合体のレムナントからの質量放出のモデル化は不可欠である。連星中性子星合体および、そこからの質量放出の過程は非線形な一般相対論的流体現象である。更に、合体のレムナントではニュートリノの放射や角運動量輸送が起きるため、物理過程が複雑化する。よって、一般相対論、ニュートリノの輻射輸送、角運動量輸送を取り入れたシミュレーションを実行することが、定量的な質量放出のモデル化のために必須になる。</p> <p>上記の考察に基づいて藤林氏は、連星中性子星合体の標準的なレムナントであるトーラスに囲まれた大質量中性子星（大質量中性子星-トーラス系）に対して、長時間にわたる一般相対論的シミュレーションを実行した。このシミュレーションには、ニュートリノの放射と吸収、中性子星に対する有限温度の状態方程式、および大質量中性子星-トーラス系で起きる粘性加熱や角運動量輸送の影響が考慮されている。また初期条件としては、連星中性子星合体の一般相対論的流体シミュレーションで得られたレムナントのデータを用いた。このように、関連する物理過程を余すこと無く考慮した長時間シミュレーションは、かつて実行されたことがなかった。藤林氏は、レムナントからの質量放出を現実的なセットアップのもとで初めて定量的に調べ、GW170817の電磁波対応天体、特に早期に観測された波長が短く明るい放射を説明するために必要な性質を持つエジェクタが、大質量中性子星-トーラス系から成るレムナントから放出され得ることを示した。</p> <p>博士論文は以下のように構成されている。まず第1章では研究の背景を、第2章では連星中性子星に関してこれまで得られている知見を概説している。第3章では、3.1節において氏の研究で用いるシミュレーションの定式化を説明した後に、3.2、3.3節では氏のオリジナルな研究内容が記述されている。3.2節では、粘性を考慮しない場合、即ちニュートリノ効果のみ考慮して、大質量中性子星-トーラス系から放出される物質の性質を調べている。未だにその正体が未解明であるガンマ線バーストは、ニュートリノの対消滅によって駆動されている可能性があり、特にその可能性について定量的に調査を行った結果が述べられている。シミュレーションの結果として、ニュートリノの対消滅による加熱率は典型的なガンマ線バーストを駆動するために必要な量よりも小さく、ニュートリノ加熱によるガンマ線バーストの駆動は困難であることが示唆された。また、大質量中性子星-トーラス系からのエジェクタの質量は、ニュートリノ加熱単独でもダイナミカルに放出されるエジェクタに匹敵することが明らかになった。続いて3.3節では、粘性を考慮した場合についてのシミュレーションの結果が説明されている。粘性効果は、大質量中性子星-トーラス系の進化の2つの段階で質量放出のために重要な役割を果たす。一つは大質量中性子星内部の角運動量輸送による、中性子星の平衡形状の変化である。この変化で発生する衝撃波によって、</p> | | | |

質量放出が起きる。もう一つはトーラスにおける角運動量輸送と加熱である。ニュートリノ放射によるトーラス冷却が非効率になる合体後約1秒後、トーラスから著しい質量放出が起きる。以上2つの質量放出過程により、エジェクタの質量は合計して太陽の数%にのぼる。これらのエジェクタは大質量星から放射されるニュートリノの吸収の影響を受け中性子過剰度が下がるため、このエジェクタの中では光の不透明度を上げる要因になるランタノイド元素の合成が進まない。このため、このエジェクタからの放射は早期に明るくなり、波長が短い電磁波放射が起き、GW170817に関連する初期段階における紫外光放射を説明し得ることも述べられている。最後に第3章において、本論文のまとめが簡潔に述べられている。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本博士論文で記述されている物理的内容は、連星中性子星合体の電磁波対応天体の理論的モデル化に対して十分なインパクトがある。現実的な初期条件、一般相対論、中性子星の状態方程式、ニュートリノの輻射輸送および反応、粘性による角運動量輸送を全て考慮した現実的なレムナントのシミュレーションはかつて実行されていない。その点で、この研究は非常に先進的なものである。そして、現実的なシミュレーションを用いて、GW170817の電磁波対応天体を説明するに足るエジェクタが合体のレムナントから放出され得ることを示した点は高く評価できる。大質量中性子星内部の粘性効果による質量放出を、シミュレーションを用いて提案し、新たな質量放出過程の可能性を示した点も評価に値する。

本論文に関する審査会は平成30年1月12日に行われた。そこでは、本論文にもとづいて連星中性子星合体の電磁波対応天体に関するレビュー及びシミュレーション手法の解説、また本研究で新たに得られた知見に関する発表が行われた。プレゼンテーションは簡潔にして要領を得たものであり、質疑応答についても現在明らかになっている事実とまだ解明されていないことを明確に回答した。全体として審査会は円滑に行われ、質疑応答を含めて予定通りの時間内に完了した。

以上まとめると、本博士論文で得られた成果は重力波天体物理学を始めとする関連分野において博士(理学)の学位を与えるに質・量ともに十分なものであり、論文の体裁やプレゼンテーションについても学位に遜色の無いものである。以上の審査結果より、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成29年1月12日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降